

Bírálóí vélemény Dr. Gáspárdy András

”A fenotípus, a genotípus és a környezet ellenőrzésével megvalósított precíziós állattenyésztési kutatások” címmel benyújtott MTA doktori értekezéséről

Szerkezeti értékelés

Az értekezés terjedelme egyszeres sortávval 89 oldal, melynek alapját 8 közlemény (2 Q1, 6 Q2) képezi, ezekben a szerző első szerző. A közlemények a 2004 és a 2024 közötti időszakot ölelik fel.

A benyújtott értekezés tagolása átlátható, logikus. A munka 9 fejezetből áll, világos fejezetstruktúrával rendelkezik. Az egyes részek témakörönként jól elkülöníthetők. Egy általános bevezetőt a témakörönkénti irodalmi áttekintés, anyag és módszer, eredmények értékelése, majd összевontan az ezekhez kapcsolódó új tudományos eredmények, a köthető saját közlemények jegyzéke, az összefoglalás (magyar, angol), az irodalomjegyzék és köszönetnyilvánítás követ. A dolgozat nyelvezete következetes, tudományos igényű, néhány helyen előfordul gépelési hiba, de ezek száma az egész értekezésben 10 alatti. Az ábrák és táblázatok informatívak, elrendezésük megfelelő. A hivatkozási rend korrekt.

A célkitűzések értékelése

A dolgozat a precíziós állattenyésztés (precision livestock farming, PLF) témakörében készült, amely a precíziós állattenyésztés genetikai, fenotipikus és környezeti aspektusaira koncentrál. A kutatás három fő területre osztható: 1) a tejalkotók, a tej elektromos vezetőképességének és a kérődzési aktivitás online mérésére, 2) genetikai monitorozás juhban és lóban, 3) környezeti kontroll kísérletekre, főként melatonin-koncentráció és szőrmechanikai vizsgálatokra. A célkitűzések világosan megfogalmazottak.

A téma elismert művelője D. Berckmans (2017) a következőképpen fogalmazta meg a PLF tárgykörét: „A precíziós állattenyésztés célja az egyedi állatok irányítása az egészségi állapot, a jóllét, a termelés/szaporodás és a környezeti hatások folyamatos, valós idejű nyomon követésével. A „folyamatos” szó ebben az esetben azt jelenti, hogy a PLF-technológia másodpercenként mér és elemez, a nap 24 órájában, a hét minden napján. A tartók riasztást kapnak, amikor valami nincs rendben, mégpedig oly módon, hogy a PLF-rendszer azonnal a(zok)hoz az állat(ok)hoz irányítja őket, amely(ek) abban a pillanatban figyelmet igényel(nek). A megfigyelés történhet kamerával és valós idejű képelemzéssel, mikrofonnal és valós idejű hanganalízissel, vagy az állat körül vagy azon elhelyezett szenzorokkal.” Tehát ez alapján műszaki-informatikai technológiai elemek felhasználását értjük az állattartásban.

Az értekezés szerzője kiterjeszti a PLF tárgykörét Gengler (2019), Miles (2019) és Truggle és mtsai (2022) munkáira hivatkozva a genom-vizsgálatokkal. Gengler (2019) szerint „a pontos, genomvezérelt döntéshozatal és a genomvezérelt tejelő szarvasmarha menedzsment kellene, hogy végső soron értéket adjon az automatizálásból származó szenzor alapú adatoknak.” Tuggel és mtsai (2022) szerint „jobban meg kell értenünk, hogyan hozza létre a genotípus a fenotípust, valamint hogy a genotípus és a környezet kölcsönhatása miként befolyásolja a mezőgazdaság szempontjából fontos, összetett tulajdonságokat a növényeknél és az állatoknál. A genetika, a genomika, a mérnöki tudományok, valamint a mezőgazdasági, számítástechnikai és adattudományi fejlődés lehetőséget kínál ezeknek a kihívásoknak a kezelésére. Például, bár a genomszekvenálás ma már rutinszerűen alkalmazható még a mezőgazdaságilag fontos fajok nagy genomjainál is, ezeknek a genomoknak a funkcionális összetevői még nagyrészt ismeretlenek.”

Az említett szerzők a genom-vizsgálatokat a termelési-élettani tulajdonságokkal, azokról nyert műszaki adatokkal együttesen kezelve értelmezik. Az értekezés 3. fejezete, mely a juh prion gén diplotipusait, a zaupel juh fajta eredetét és a székely ló rekonstrukcióját elemzi, nem illeszthető a PLF kiterjesztett

tárgykörébe. Az angol telivér szőrzetének morfológiai változása fényprogram hatásának kutatása is csak érintőlegesen kapcsolható a precíziós állattartáshoz.

A precíziós eszközök alkalmazása valóban nem kizárólag az intenzív fajták termelési környezetének sajátja, de véleményem szerint a történelmi fajták is akkor illeszthetők a PLF koncepcióba, ha az alkalmazás termelési-élettani tulajdonságokra, az állat környezetére vonatkozik, felhasználva azt az őshonos állatok biodiverzitás védelmében és komfortérzetének biztosításában, a genom-környezet-fenom hármásában.

A 3. fejezet azonban önmagában értékelhető. Mindenesetre bizonyítja a szerző széles látókörét, felkészültségét, több éves kutatási tapasztalatát és nemzetközi kapcsolatrendszerét.

Tartalmi értékelés

Az egyes fejezetek (2., 3., 4.) kutatásának szakirodalmi megalapozása részletes, teljeskörűnek mondható. Ugyanakkor hiányoltam az idézett közlemények kritikai megközelítését, azok megbízhatóságának elemzését, a feltáratlan területek azonosítását, melyet a szerző majdan a saját vizsgálataival kíván feltárni.

A fenotípus ellenőrzésével megvalósított kutatások

A tejmenyiség, tejcukor, tejfehérje, tejszír változása a laktáció során ismert. A szerző ezen mennyiségek és a beltartalmi alkotóknak állandó energiatartalmat feltételezve, átszámítva jellemezte a tej energiatartalmának változását. Származtatott mutatói a teljes energiamennyiségre, a napi (befejéskori) viszonylagos energiamennyiségre, a legmagasabb viszonylagos energiamennyiség idejére és szintjére vonatkoztak. A laktóz energiatartalmát 17,2 kJ/g, a fehérjét 23,5 kJ/g, a zsírt 39,4 kJ/g értéknek feltételezte. Az energiatartalom becslését egy telep 309 egyedének 1996 és 2000 közötti adatainak felhasználásával végezte. Az alkalmazott elemző statisztikai modellek (túlélés elemzés, lineáris vegyes modell) megfelelőek.

Heck és mtsai (2009) szerint a szelekció során a tejfehérje összetétele változik és nem azonos az 1960-ban megállapított 2005-es összetétellel. Gellrich és mtsai (2014) szerint ráadásul a laktáció során is változik a fehérje összetétele. Stoop és mtsai (2009) vizsgálatai szerint a negatív energia egyensúlyban a C16:00 és C18:00 zsírsavak növekedése a testzsír mobilizációjára utal. A C5:00-C15:00 zsírsavak csökkenésével a laktáció során a zsírsavösszetétel is változik. A zsírsavösszetételt ezen szerzők gázkromatográffal állapították meg. A tej zsírsav-összetétele dinamikusan változó mintázat, amelyet a laktációs stádium, az energiaegyensúly és a takarmány összetétele is befolyásol (Gross és mtsai, 2011). A zsírsavlánc hossza és szerkezete (például telített vagy telítetlen volta) enyhén befolyásolja az adott zsírsav pontos energiatartalmát és azt, hogy a szervezet hogyan hasznosítja azt. A rövid szénláncúak gyorsabban felszívódnak és metabolizálódnak. A tejszírt alkotó különböző szénláncú zsírsavak energiaértéke kissé eltér egymástól, bár általánosságban minden zsírsav energiaértéke körülbelül 38,5 kJ/g (9 kcal/g) körül alakul az Atwater-rendszer által megadva (Hall, 2022). Összegezve, közelítéssel állandónak vehető. A tejfehérje energiaértékét a FAO (2002) 17,9 kJ/g-nak, a laktóz energiatartalmát 16,2 kJ/g-nak adja meg. A szerzőnek további vizsgálataira javaslom Johnson és mtsai (2016) munkáját, ebben bemutatnak egy tejelő tehenekre vonatkozó szimulációs modellt, amely magában foglalja a zsír- és fehérjeszintézis energiaszabályozását, a zsírbontásból felszabaduló energiát, a vemhességet és a laktációt, valamint a nitrogén-dinamikát, és egy teljes matematikai leírást is közölnek. Ez egy *felvételvezérelt* modell, amelyben az egyes folyamatok közötti egyensúly az állat számára rendelkezésre álló metabolizálható energia mennyiségétől függ.

Kérdéseim:

- A tejösszetevők relatív energiaértékeinek „élettani állandósága” mennyiben igazolható a három laktáció alapján? Hogyan viszonyulnak ezek az eredmények az NRC (2001) vagy INRA (2018) takarmányozási modelljeihez?
- Hogyan kapcsolható a tejösszetétel, zsírsavösszetétel változása a „hagyományos” értelemben vett precíziós állattartással? Hogyan avatkozna be?
- Javasolja, hogy a tejtermelés energiaigényét szelekcióval változtassuk meg. Kérem, ennek módját fejtsse ki. Bár szelekcióval elérhetők a kívánt változások a tej összetételében, e megközelítést körültekintően kell alkalmazni, hogy elkerülhetők legyenek a tehén egészségét és termékenységet érintő nem kívánt következmények. Noha a zsír-fehérje arány állomány szintjén utalhat az energiaegyensúlyra, Cabezas-Garcia és mtsai (2021) elemzései azt mutatják, hogy ez az arány nem alkalmas az egyes tehének energiaegyensúlyának pontos előrejelzésére.

A tej vezetőképességének elemzéséhez egy telep 81 egyedének adatait használta fel. Ezek közül 45 egészséges volt, 36 egyed legalább egyszer klinikai tüdőgyulladással azonosított. A 81 egyed adata alapján a szerző öröklődhetőségi és ismétlődhetőségi értéket becsült. A becsülő modell (REML) alkalmas a számításhoz, viszont a 81 egyed (251 egyed a pedigrében) alapján megállapított 0,56-os h^2 érték szokatlanul magas, az eddig ismert 0,22-0,39 (1507 egyed) értékhez képest. Ennek oka lehet - mint arra a szerző is kitért - az elemzésre kiválasztott alacsony létszám (ami a populációra becsülhető genetikai variancia túlbecslését okozhatta) és az egy környezetben viszonylag rövid időtartamban végzett adatfelvételezés (ami a környezeti variancia alacsony voltát okozhatta). A szerző nem adja meg a becslés hibáját (+/-). Firk és mtsai (2002) a tej vezetőképességének ismétlődhetőségét 0,72 értékűnek becsülték.

Kérdésem:

- Az A és C bikák leányainál a tüdőgyulladás hatására a vezetőképesség emelkedett, míg a C bika leányainál ez nem volt megfigyelhető. Ilyen módon a vezetőképesség változása egyértelműen jelezheti-e a tüdőgyulladás várható bekövetkeztét?

A kérődzés aktivitásának értékeléséhez három telep 96 egyedének adatait használta fel a szerző, melyből 20 hiperketonaemiával és/vagy méhbetegséggel (84) azonosított. Ebben az esetben a kérődzési aktivitást, a napi élösúlyt és a napi tejmennyiséget értékelte. Elemzéséhez egytulajdonságos hierarchikus lineáris modellt alkalmazott. A modell megfelelő az elemzéshez.

Kérdéseim:

- A laktáció csúcsáig, s azt követően (a laktáció 1.-től a 60-90. napjáig) a testkondíció pontszám csökkenését tapasztaljuk intenzív tejelő egyedeknél (Banos és mtsai, 2004). Az 1.6. ábrán viszont a 100. napig a tehének testsúlya nem csökkent. Ebben az állományban mi lehet a magyarázata?
- A szubklinikai hiperketonaemia (SHK) esetén a diagnózis körüli napokon és azt megelőzően a kérődzési aktivitás és a tej mennyisége lényegesen (szignifikánsan) nem változott (1.4. táblázat). A követő egészséges időszakban viszont igen. Megbízhatóan alkalmazható-e az SHK becslésére a kérődzési aktivitás?

A genotípus ellenőrzésével megvalósított kutatások

A szerző a Dunamenti Állatfajták Génmegőrző Nemzetközi Egyesülete elnökeként is kiterjedt kutatásokat folytat az őshonos állatfajták genetikai jellemzéséről, jelentős érdemei vannak a dunamenti őshonos fajták védelmében. Az értekezésében is számosat találunk közülük (cikta, bovec, waldschaf,

cigája, racka, székely ló). A kis létszámú populációk genetikai-statisztikai leírásában szokásos mutatókat (Shannon index, Tajima D teszt, Fu és Li D*, Fu és Li F* tesztek, nukleotid diverzitás, genetikai egyensúly) biztonsággal alkalmazza, jól értelmezi az eredményeket.

A fejezet a már fentebb említett okok miatt sem illeszkedik a precíziós állattartás kiterjesztett fogalomkörébe sem, azzal nem koherens, de a fejezetet önmagában tekintve tudományosan helytálló.

A 3.1. fejezet szakirodalma felöleli a surlókor történeti áttekintését, hatósági, tenyésztői szabályozását, a zaupel, és a belőle kialakult cikta juh fajta történetét, és az egyes mitokondriális haplocsoportok eurázsiai előfordulását valamint a székely ló történetét.

A prionkutatáshoz 5049 egyed, a zaupel juh kutatáshoz 118 egyed, a székely ló kutatáshoz 59 egyed genetikai mintáját használta fel. Az alkalmazott módszer megalapozott, jól dokumentált.

A priongén (PRNP) polimorfizmusának vizsgálata magyar őshonos fajtákban – különösen a Shannon-index és a káros kodonok arányának elemzése – megalapozott és precíz értékelést ad, jól illeszkedik az EU-s scrapie monitoringhoz. Nemzetközi relevanciáját növeli a részletes diverzitási statisztika. Az mtDNS-alapú vizsgálatok újdonsága nem a módszerben, hanem a célfajtákra alkalmazásában (pl. cikta) és azok történeti-genetikai jellemzésében rejlik. Az alkalmazott populációgenetikai mutatók (Tajima D, Fu és Li tesztek, Fu's Fs) helyes értelmezése esetén alkalmasak a rokonsági és diverzitási mintázatok feltárására, bár a következtetések megfogalmazásakor némi óvatosság ajánlott.

A zaupel fajta rokon fajtáinak elemzése, az eredmények értékelése kiemelkedő része a dolgozatnak, mely a juh háziásításának genetikai történetének értelmezéséhez is adalékul szolgál. A GenBank nyilvános adatbázisába feltöltött 118 új szekvencia a további nemzetközi juh filogenetikai kutatásokat szolgálja.

Az mtDNS D-hurok szekvenciák alapján kimutatott 13 haplocsoport és azok földrajzi eredetei (ázsiai, európai, közel-keleti) olyan genetikai háttérre világítanak rá, amely eddig kevésbé volt dokumentálva a székely ló esetében. Ez a rész egyértelműen új tudományos eredmény. A szerző megteremtette a székely ló DNS archívumának alapjait. A fajta D-hurok szekvenciáit a GenBank adatbázisába feltöltötte.

Kérdésem:

- Hogyan illeszkedhet az őshonos fajták tartása a precíziós állattartás témakörébe, milyen precíziós technológia alkalmazható ezen fajták esetében, mely a jelenlegi támogatási-piaci körülmények között is bevezethető lenne, figyelembe véve a fajták egyedeinek általában kis létszámát egy-egy tenyészetben?
- A szerző megalkotta a relatív Shannon információs indexet. Ez mennyiben tér el a Fager (1972) által alkotott „evennes” mutatótól?
- A cikta fajtában a legrezisztensebb genotípus a kíváncsnál ritkábban fordul elő, és ebben nem történt változás közel egy évtized alatt. Mivel magyarázható? Mit ért azon, hogy a cikta ARQ haplotípus gyakorisága fajtaspecifikus?
- A székely ló tenyésztésében, rekonstrukciójában tanácsosnak tartja-e ázsiai, európai fajták felhasználását?

A környezet ellenőrzésével végzett kutatások

A 4. fejezetben az angol telivéreken végzett mesterséges fénykiegészítéssel végett kutatásait mutatja be a szerző a vérplazma melatonin koncentrációjára és a felszőr fejlődésére. A melatonin kísérletekhez 53 kancát és csikóját használta fel egy tenyészetben ellenőrzött körülmények között. A kontroll állományt (25 kancá-csikó) természetes fényben, a fénykezelt állományt (28 kancá-csikó) ellés előtt 41 napig, napi 15 órás természetes és kék fény kiegészítésben részesítette (hasonlóan Nolan és mtsai, 2017; Lutzer és mtsai, 2002a, 2002b vizsgálataihoz). A statisztikai elemzéshez helyesen használta a visszaléptetési

változókiválasztás módszerét (backward elimination). A felszőr mechanikai és morfológiai vizsgálatokhoz 28 kanca-csikópárt kontrollként, 27 kanca-csikópárt fénykezelésre választott ki. Az elemzéshez megfelelően általános lineáris modellt alkalmazott. Részletesen taglalja a fénykiegészítés melatonin és szálmorfológiai hatását és összehasonlítja azt a kancák és csikók viszonylatában. (A 3.3. és a 3.4. táblázatban a létszámok eltérnek-e?)

Kérdésem:

- Az angol telivér csikók év eleji születési előnye miatt az ivari ciklus kiváltása érdekében fényprogramot alkalmazhatnak. A szerző a vemhesség utolsó fázisában alkalmazott fényprogramot. A két időszakban eltérő céllal alkalmaznak fényprogramot. Van-e ismerete a vemhesség előtti fénykezelés csikóra vonatkozó élettani hatására, s az mennyiben tér el a vemhesség utolsó fázisában alkalmazottól? Lutzer és mtsai (2002b) a csikó egyéves koráig követték a fénykiegészítés élettani hatásait. Az ön eredményei mennyiben haladják ezeket meg?
- A melatonin-koncentráció csökkenése és a szőrminőség romlása milyen fiziológiai vagy etológiai következményekkel járhat az újszülött csikók túlélési esélyeit tekintve?
- A melatonin-koncentráció mérését javasolja-e a szerző állomány-monitoring részeként a csikók vitalitásának korai becsléséhez?
- Jelenleg a lótarásban milyen precíziós eszközöket használnak, minek a használatát tartaná érdemesnek?
- A lovakon alkalmazott fényprogramot hogyan illesztené be a precíziós állattartás fogalomkörébe?

Összefoglaló vélemény

Az értekezés megfelel az MTA doktori eljárásával szemben támasztott tartalmi és formai követelményeknek. A szerző az elméleti megalapozástól a gyakorlati alkalmazásokig rendkívül széles spektrumot jár be, és fontos adatokat szolgáltat a tejtermelés, állategészségügy, viselkedésmonitorozás és a genetikai diverzitás területén. A vizsgálatok során alkalmazott módszertani sokszínűség a kutató módszertani jártasságát mutatja. Ugyanakkor a fő eredményfejezetek koherenciája kevésbé állapítható meg.

Az új tudományos eredmények összegzése strukturált, publikált adatokra alapozott, a tudományos érték kimutatható.

Új tudományos eredményként fogadom el az alábbiakat:

A tejösszetevők energiatartalma a laktáció folyamán a tejszír, a laktóz és a tejfehérje sorrendet követik.

A klinikai tügygyulladásal diagnosztizált nagy tejtermelésű tehenek tejének elektromos vezetőképessége a laktáció tizenharmadik hetétől meghaladja az egészséges társaik értékét.

Kapcsolat van a kérődzési aktivitás, a szubklinikai hiperketonaemia és méhbetegségek között.

A zaupel juh három utódfajtájának (waldschaf, bovec és cikta) mtDNS kontrollrégiója alapján a cikta jellemző a legnagyobb genetikai diverzitás.

A székely ló D-hurok szekvenciára alapozottan 13 haplotípussal jellemezhető. A rekonstruált fajta jelentős mértékben ázsiai eredetű, az európai és közel-keleti lovakra jellemző haplocsoportok kisebb arányban jelennek meg.

A dolgozat nyilvános vitára bocsátását, az MTA doktori cím odaítélését támogatom.

Felhasznált irodalom:

Banos, G., Brotherstone, S., Coffey, M. P. (2004): Evaluation of Body Condition Score Measured Throughout Lactation as an Indicator of Fertility in Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 87:2669–2676.

Berckmans, D. (2017): General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers*. Vol. 7, No. 1 p. 6.-11.

Cabezas-Garcia, E.H., Gordon, A.W., Mulligan, F.J., Ferris, C.P. (2021): Revisiting the Relationships between Fat-to-Protein Ratio in Milk and Energy Balance in Dairy Cows of Different Parities, and at Different Stages of Lactation. *Animals*. 11. 3256.

Fager, E.W. (1972): Diversity: a sampling study. - *Am. Nat.* 106:293-309.

FAO (2022): Food energy – methods of analysis and conversion factors. *FAO Food and Nutrition Paper*, 77. Rome.

Firk, R., Stamer, E., Jung, W., Krieter, J (2002): Systematic effects on activity, milk yield, milk flow rate and electrical conductivity. *Arch. Tierz., Dummerstorf* 45. 3. 213-222.

Gellrich, K., Meyer, H.H.D., Wiedemann, S. (2014): Composition of major proteins in cow milk differing in mean protein concentration during the first 155 days of lactation and the influence of season as well as short-term restricted feeding in early and mid-lactation. *Czech J. Anim. Sci.*, 59. 3: 97–106.

Gross J, van Dorland HA, Bruckmaier RM, Schwarz FJ. (2011): Milk fatty acid profile related to energy balance in dairy cows. *J. Dairy Res.* 78(4):479-488.

Hall, M.B. (2022): Invited review: Corrected Milk: Reconsideration of common equations and milk energy estimates. *J. Dairy. Sci.* 106:2230-2246.

Heck, J. M. L. , Schennink, A., van Valenberg, H. J. F., Bovenhuis, H., Visker, M. H. P. W., Johnson, I. R., France, J., Cullen, B. R. (2016): A model of milk production in lactating dairy cows in relation to energy and nitrogen dynamics. *J. Dairy Sci.* 99:1605–1618.

Norberg, E., Rogers, G.W., Ødegaard, J., Cooper, J.B, Madsen, P. (2006): Short Communication: Genetic Correlation Between Test-Day Electrical Conductivity of Milk and Mastitis. *J. Dairy Sci.* 89:779–781.

Stoop, W. M., Bovenhuis, H., Heck, J. M. L., van Arendonk, J. A. M. (2009): Effect of lactation stage and energy status on milk fat composition of Holstein-Friesian cows. *J. Dairy Sci.* 92:1469–1478.

van Arendonk, J. A. M., van Hooijdonk, A. C. M. (2009): Effects of milk protein variants on the protein composition of bovine milk. *J. Dairy Sci.* 92:1192–1202.

Debrecen, 2025. április 28.

Dr. Komlósi István

az MTA doktora